CARACTERIZAÇÃO DOS PROCESSOS EÓLICO-MARINHOS PRESENTES NO PLANALTO DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA RECONHECIDOS EM IMAGENS DE SATÉLITE

Fabiano do Nacimento PUPIM [1]
Jairo Roberto JIMENÈZ-RUEDA [2]
Juercio Tavares de MATTOS[3]
Norton Roberto CAETANO[4]

RESUMO

Nos Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina vêm sendo caracterizados campos dunares por diversos pesquisadores entre os quais podemos mencionar Delaney (1965), Jost (1971), Tomazelli (1990) e Scherer (2000), determinando que tais campos dunares podem ser ou são correlacionados com as dunas fossilizadas pelo derrame basáltico ocorrido durante o Jurássico/Triássico e denominados de Formação Botucatu.

Esses elementos dunares denominados como Formação Botucatu localizam-se no sopé do Planalto do Rio Grande do Sul, com direções E-W na maior parte e N-S no sudoeste do Estado, assim mapeado pela CPRM no Mapa Geológico do Brasil. Posteriormente esses elementos foram recobertos por derrames basálticos da Formação Serra Geral, mantendo-se preservados. Outros estudos colocam esses elementos nas Formações Santa Maria e Rosário do Sul.

Entretanto, Delaney (1965), enfatizou em seus trabalhos a presença de tais dunas nesses campos dunares Pleistocênicos. Delaney (1965), observa que a leste da Lagoa dos Quadros e Itapoã ocorrem múltiplas colinas de areia que ainda não foram mapeadas e cuja relação com a lagoa não é conhecida. Villwock em um de seus trabalhos utiliza técnicas de datação, apontando alguns desses elementos provenientes de processos marinhos Holocênicos; essa falta de definições e maiores informações é o que motiva a apresentação dessa proposta.

Durante os estudos de caracterização do meio físico, foram comparadas diversas situações em imagens de satélite, observou-se a presença de elementos dunares com características muito mais recentes que os já citados, podendo ser originados durante as transgressões e regressões do Pleistoceno-Holoceno e o Holoceno.

A evidência de tais feições e campos dunares em imagens CCD/CBERS-2 e fotografias aéreas, motivaram uma vasta pesquisa bibliográfica dirigida a problemática, e a busca de novas imagens de satélite de estações e anos diferentes, para aumentar a confiabilidade das analises e dos processos de evolução dos campos dunares e restos de planícies marinhas. As imagens demonstram um escalonamento que vem a caracterizar a denominação do Planalto sul-rio-grandense, os quais podem apresentar vestígios de planícies de deflação e ablação, formadas por processos eólico-marinhos tectonizados.

Nas imagens de satélite, são reconhecidas como formas dominantes de dunas parabólicas e balcães, sendo originadas por ventos de direção SE-NW as parabólicas e ventos NE-SW as balcães, com aproximadamente 200 m a 400 m de comprimento e 5 m a 15 m de altura;

[1] Universidade Estadual Paulista – Rio Claro, Graduando Geografia, fabianopupim@yahoo.com.br.
[2] Universidade Estadual Paulista – Rio Claro, Professor Doutor, jairorjr@rc.unesp.br
[3] Universidade Estadual Paulista - Guaratinguetá, Professor Doutor, juercio@feg.unesp.br
[4] Universidade Estadual Paulista – Rio Claro, Doutorando Geociências e Meio Ambiente, nortonrc@rc.unesp.br

essas podem estar sendo truncadas ou recobertas por dunas longitudinais, proporcionando com isso excelentes condições para a formação de lagos e lagoas interdunares, com orientação N-S em formas parecidas com corações, que são predominantes na paisagem local.

Por vezes esses corpos dunares não ficam claros no campo, podendo ser confundidos, devido a presença de estratificações cruzadas, com a Formação Botucatu que encontra-se profundamente intemperizada ou ferruginizada.

INTRODUÇÃO

Na Bacia Sedimentar do Paraná, Estado do Rio Grande do Sul e parte de Santa Catarina, são evidenciados processos de natureza eólica e marinha. Esses depósitos podem definir as paisagens de campos dunares, localizados tanto em planícies litorâneas como em áreas continentais.

Inúmeras pesquisas foram realizadas com o objetivo de caracterizar, datar e desvendar os processos formadores desses campos dunares, tendo como área preferencial as planícies litorânea, Delaney (1965), que define essas feições como sedimentos em superfície, encontrados ao norte da planície costeira do Rio Grande do Sul, constituindo a unidade do Grupo Patos, com idade Pleistocênica.

Jost (1971), Tomazelli et al. (1982), Wildner et al. (1988) e Tomazelli & Villwock (1992), caracterizam os depósitos residuais litorâneos como sistema barreira, sendo intercalado por sistemas lagunares, esses sistemas são originados a partir das variações do nível do mar no decorrer do período Holocênico, essas chamadas de transgressões e regressões marinhas recentes. Após a configuração das barreiras, ocorre a atuação de processos eólicos, formando extensos campos de dunas barcanas, principalmente sobre a barreira IV, datada por Tomazelli & Villwock (1992) entre 5Ka e 4Ka.

Outros pesquisadores como Sherer (2000) e Gonzaga (1974) caracterizam os campos dunares localizados no interior do Rio Grande do Sul, como feições provenientes de retrabalhamentos do arenito formação Botucatu, pertencente ao período Jurássico, sendo posteriormente fossilizadas pelos derrames basálticos da formação Serra Geral, formando assim morros arqueados denominados de paleodunas.

Já Suertegaray (1987), desenvolveu uma longa pesquisa nos areais do sudoeste gaúcho, caracterizando as feições dunares, constituindo os campos dunares de pequeno porte, localizados tanto em baixadas, como em vertentes de mediana declividade. Acreditando que essa paisagem se originou a partir de diferentes paleoclimas que estiveram presentes em todo território brasileiro no Quaternário, climas esses com temperatura e umidade muito inferior a dos dias atuais. E a ocorrência de processos eólicos sobre essas planícies provenientes de regressões marinhas, gerando possivelmente dunas longitudinais de direção NW/W, pois os ventos locais são predominantemente da quadricula SE.

Antón & Goso (1974) admitem a ocorrência de depósitos aluviais sendo recoberto por processos eólicos, formando feições dunares coincidentes com os areais. Tais feições norteiam a presente pesquisa, para definir o domínio paisagístico decorrente de processos eólicos sub-atual, esses podem estar presentes tanto no interior como nos sistemas barreira mais recente.

Para tal caracterização foi realizada a interpretação, mediante a metodologia da “analise fisiográfica” proposta por Goosen (1968), de imagens de satélite CCD/CBERS-2, fotografias aéreas, utilização de softwares de geoprocessamento e complementação com uma ampla revisão bibliográfica. Assim contribuindo para a definição e caracterização de paisagens eólicas e marinhas na região sul do Brasil, por métodos de interpretação de sensores remotos.

ÁREA DE ESTUDO

Para identificação de feições de dunas no Rio Grande do Sul e sul de Santa Catarina, escolheu-se três áreas:

Região da Depressão Periférica: em meio ao rio dos Sinos e a RS-229, e entre as cidades de Taquara-RS, Igrejinha-RS e Sarapiranga-RS. Coordenadas de referência 50º53'W e 29º41'S. Altitude entre 15m e 100m.

Região Planalto Basáltico: no município de São Francisco de Paula-RS, ao sul do bairro Várzea do Cedro. Coordenadas de referência 50º28'W e 29º15'S. Altitude entre 960 m e 1030 m.

Região da Campanha Gaúcha: a leste da cidade de Uruguaiana-RS. Coordenadas de referência 57º00'W e 29º50'S. Altitude entre 40 m e 115 m.

Dentro de cada região, foram escolhidas estas áreas para teste, pois é onde se dispunha de dados (imagens orbitais e aerofotografias).

A Figura 2 apresenta um esquema com a imagem CCD/CBERS-2, banda 4, representado a região do Planalto Basáltico da área de estudo. A Figura 3 apresenta a imagem CCD/CBERS-2, banda 4, representando a região da Campanha Gaúcha da área de estudo.

PROCEDIMENTOS

A seguir são detalhados os procedimentos adotados no presente trabalho, os quais seguem os passos apresentados no fluxograma da Figura 1.

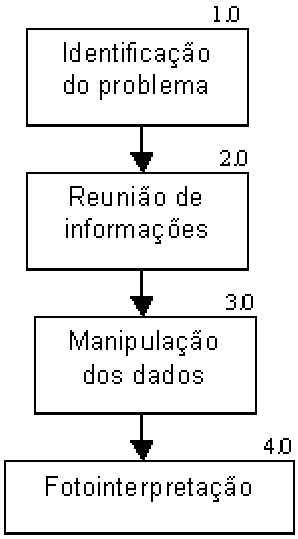


Figura 1. Fluxograma de trabalho.

1.0 Identificação do problema

Foram identificadas feições dunares na Depressão Periférica e área do Planalto Basáltico do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, por interpretações de imagens de satélite CCD/CBERS-2, escala 1:100.000, durante trabalhos de mapeamento, realizado no ano de 2004 e 2005, no Departamento de Geologia Aplicada, Unesp de Rio Claro.

Tais feições dunares não eram esperadas na região mapeada, fato que chamou a atenção levando a motivação para a pesquisa bibliográfica. Procedeu-se então o levantamento bibliográfico sobre o tema na área de interesse e reunião das imagens para interpretação.

No entanto, a literatura sobre os processos de formação das feições dunares se apresenta controversa.

Frente a essa situação de indefinição de tais processos pela literatura e as evidências encontradas nas imagens, houve a motivação para o presente estudo.

2.0 Reunião de informações

Para realização do presente trabalho, além de recursos computacionais, utilizou-se de imagens CCD/CBERS-2 e fotografias aéreas na escala aproximada 1:25.000. A Tabela 1 apresenta a descrição dos produtos de sensoriamento remoto utilizados.

Tabela 1. Descrição dos produtos de sensoriamento remoto utilizado.

Fonte	Data	Faixa do espectro (ηm)	Órbita/ponto	Obs.
CCD/CBERS-2	13/08/04	Banda 2 (0,52-0,59)	157/132	
CCD/CBERS-2	13/08/04	Banda 3 (0,63-0,69)	157/133	
CCD/CBERS-2	03/12/04	Banda 4 (0,77-0,89)	163/133	
Aerofotos	12/2000	Visível (0,4 a 0,7)	–	Escala 1:25.000

Utilizou-se também das cartas topográficas IBGE, na escala 1:50.000, folhas Uruguaiana, Taquara e Várzea do Cedro. A descrição das cartas topográficas utilizadas é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição das cartas topográficas ibge utilizadas

Folha	Referência	Datum	Meridiano de referência	Data
Uruguaiana	SH.21-V-D-VI-4 M-2958/4	Córrego Alegre-MG Marégrafo Torres-RS	51ºW	1979
Taquara	SH.22-X-C-IV-1 M-2971/1	Córrego Alegre-MG Marégrafo Torres-RS	51ºW	1979
Várzea do Cedro	SH.22-X-C-II-1 M-2955/1	Córrego Alegre-MG Marégrafo Torres-RS	51ºW	1979

3.0 Manipulação dos dados

As fotos aéreas na escala 1:25.000, estão em formato digital "*.jpg", e foram obtidas via digitalização por scanner. Dispõe-se de fotos aéreas das regiões da Depressão Periférica e do Planalto Basáltico.

As imagens do CCD/CBERS-2 foram adquiridas via rede no endereço "www.dpi.inpe.br/catalogo", posteriormente inseridas em um banco de dados digital georreferenciado no software SPRING, versão 4.1.1.

As cartas topográficas estão em formato analógico (papel), original do IBGE.

Com estes dados procedeu-se uma fotointerpretação dos produtos de sensoriamento remoto, com o objetivo de se identificar feições de origem eólica (dunas e montículos de deflação).

Com as imagens do CCD/CBERS-2 em ambiente SIG procedeu-se a fotointerpretação em meio digital. Os traços de feições de dunas são um modelo temático dentro do bando de dados digital.

4.0 Fotointerpretação

A sistemática de fotointerpretação obedeceu a Guy (1966), que propôs o reconhecimento de padrões de relevo e drenagem em fotos aéreas, Rivereau (1970), as transcreveu, Soares e

Fiori (1976), as adaptaram para condições brasileiras e Veneziani e Anjos (1982), as usaram para interpretação em imagens de satélite com fins geológicos.

A identificação das feições faz-se pelo método sistemático (Veneziani e Anjos, 1982), com o reconhecimento dos elementos de textura de imagem. Para o presente trabalho assumiu-se como elemento de textura as formas homogêneas e repetitivas do relevo e da drenagem, identificáveis em imagens CCD/CBERS-2 e fotos aéreas.

De acordo com Nunes *et al* (1995), quando observadas em planta, as dunas têm formato de U aberto, parabólico, ou de "boomerang". Elas podem ser parabólicas ou barcanas, segundo a forma que assumem pela direção do vento. Em ambientes eólicos, além das dunas, podem formar-se montículos de deflação, que são pequenos ressaltos no relevo.

A identificação das dunas nas imagens utilizadas (orbitais e aéreas), dá-se por meio da identificação da feição parabólica que a caracteriza. Por vezes encontram-se feições de dunas cortadas, seja por uma outra duna, por fraturamento, por erosão ou sedimentação.

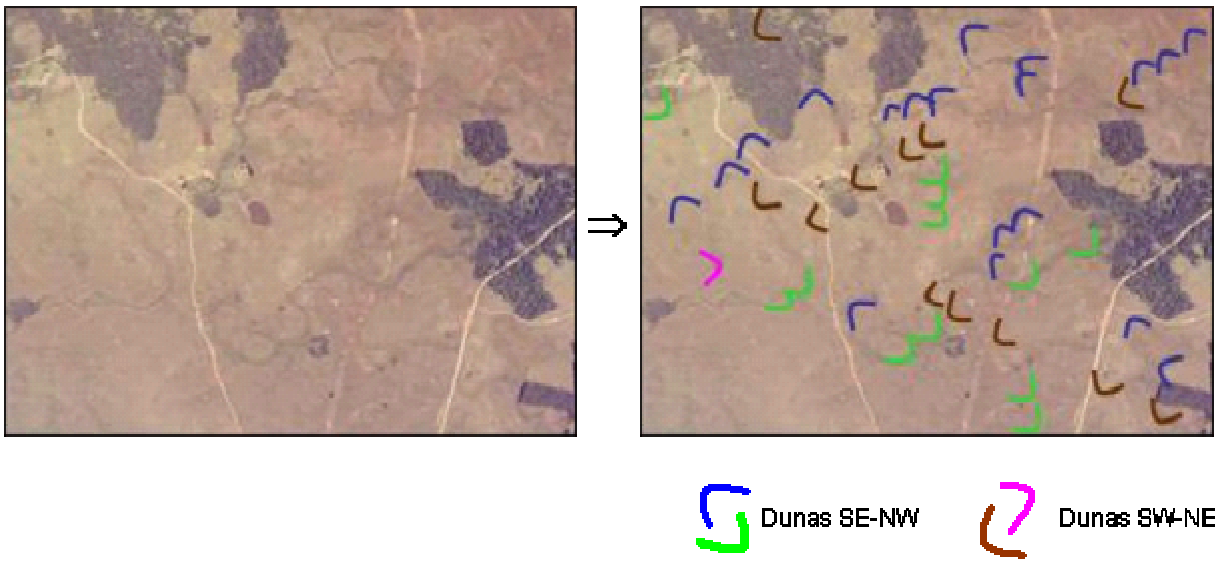
Devido à sua baixa resolução espacial, as imagens orbitais permitem um nível de detalhe limitado. Portanto, para a confirmação do mapeamento utilizaram-se as fotos aéreas disponíveis. Nelas seguiu-se a interpretação de feições de dunas da mesma maneira que nas imagens orbitais.

RESULTADOS

O resultado da fotointerpretação de feições de dunas na região do Planalto Basáltico pode ser observado na Figura 2b. Nela são apresentados os traços de feições de dunas encontrados, divididos por cor segundo a direção de orientação, sendo azul para NW, marrom para SW, verde para SE e rosa para NE.

Na Figura 2b visualiza-se 38 traços de feições de dunas, sendo que 10 tem orientação SW, 1 tem orientação NE, 10 tem orientação SE e 17 tem orientação para NW.

Nota-se na Figura 2a a existência de pequenas lagoas (naturais ou artificiais). Observa-se que o formato destas lagoas é semelhante ao formato das lagoas encontradas na região da Campanha Gaúcha (Figura 3).



(a) (b)

Figura 2. Esquema de foto aérea da região do Planalto Basálico (a), com sua respectiva fotointerpretação (b).

O resultado da fotointerpretação de feições de dunas na região da Campanha Gaúcha pode ser observado na Figura 3. Nela são apresentados os traços de feições de dunas encontrados, divididos por cor segundo a direção de orientação, sendo azul para NW, marrom para SW, verde para SE e rosa para NE.

Na Figura 3 visualiza-se 43 traços de feições de dunas, sendo que 7 tem orientação SW, 11 tem orientação NE, 8 tem orientação SE e 19 tem orientação para NW.

Observa-se também na Figura 3, conforme fotointerpretação, que há diversas feições de dunas relacionadas aos lagos (em sua maioria artificiais). Estas feições de dunas, em muitos casos, limitam a parte a montante dos lagos artificiais. Nota-se que a forma dos lagos é semelhante à forma dos lagos da Figura 2a.

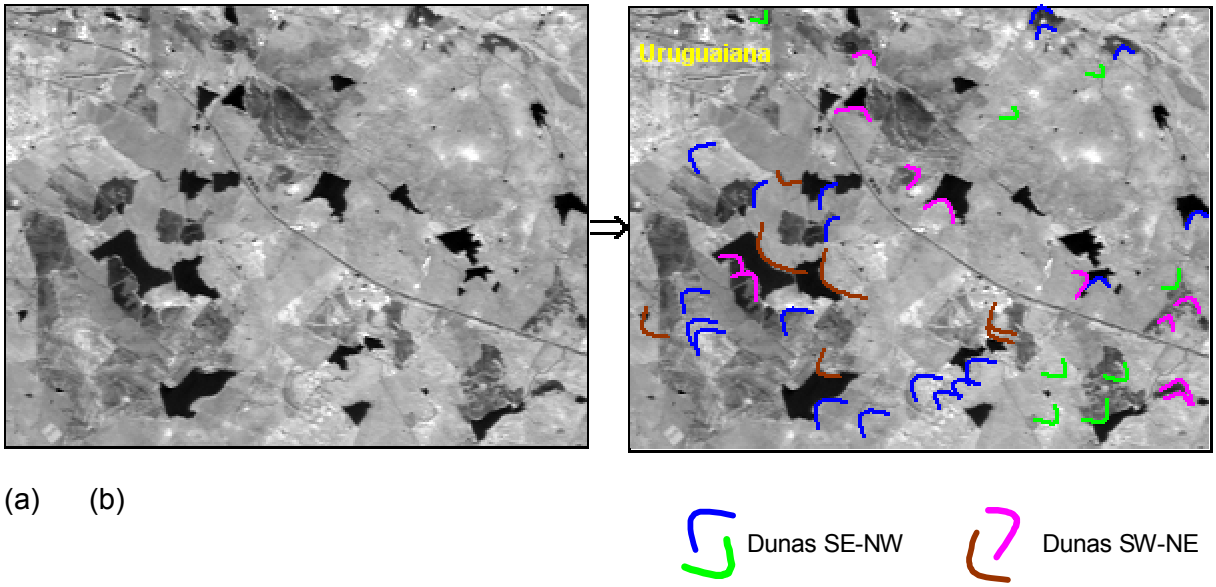


Figura 3. Imagem CCD/CBERS-2, banda 4, da região da Campanha Gaúcha (a), com sua respectiva fotointerpretação (b).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente não há dunas móveis na área de interesse dentro do Rio Grande do Sul e sul de Santa Catarina. As feições encontradas assemelham-se a dunas pela forma e tamanho. Além disso, Suertegaray (1987) comprova a existência de dunas próximo a Quarai-RS (região da campanha gaúcha) e mesmo no Uruguai (Antón & Goso, 1974). Sherer (2000) também identificou dunas na Depressão Periférica.

Com base nas feições de dunas apresentadas nas Figuras 2 e 3, pode-se afirmar que o vento predominante na área é SE-NW (54 feições de dunas encontradas), o qual relaciona-se com a intertropical Atlântica, seguido pela direção SW-NE (29 feições de dunas encontradas), o qual relaciona-se com a intertropical Pacífica. Este resultado é corroborado por Delaney (1965) e Suertegaray (1987).

Nas imagens utilizadas no presente trabalho (orbitais e aéreas), observa-se muitas feições de dunas. Estas estão invariavelmente associadas a relevo suave (baixa declividade e baixa amplitude altimétrica), material rico em quartzo, afloramento d'água, alta susceptibilidade a erosão (vertentes convexas) e rede de drenagem caótica.

Nesses campos dunares detecta-se lagoas, que foram esvaziadas por processos erosivos, de sedimentação ou tectonismo recente, por meio de canalículos que se abrem entre as feições dunares.

A maior parte das feições dunares encontradas na área têm cerca de 200 metros de largura e entre 10 a 15 metros de altura. Assim sendo, elas podem ser perfeitamente identificadas em imagens orbitais e aéreas.

As imagens CCD/CBERS-2 com 20 metros de resolução espacial permitem ao usuário uma visualização compatível com a escala 1:50.000. Nessa escala as feições de dunas são elementos de textura da ordem de 4 centímetros na imagem.

Como se pode observar, comparando-se as Figuras 1b e 2, as feições de dunas apresentam-se em vários tamanhos, sendo identificadas em diferentes escalas, desse modo elas podem ser mapeadas em imagens orbitais e em fotos aéreas.

Apesar de muitas feições já terem sido parcialmente ou mesmo totalmente destruídas (por fraturamento, erosão ou sedimentação), outras ainda permanecem perfeitamente identificáveis nas imagens utilizadas.

Dos resultados obtidos e com base na literatura disponível, depreende-se que a influencia eólica (e o desenvolvimento de dunas), foi truncada quando houve o soerguimento da plataforma continental em relação ao nível do mar. Sendo que a região do Planalto Basáltico sofreu forte soerguimento (fato também comprovado por feições de escarpas de falha e facetas triangulares nas bordas da Serra Geral) em relação à região da Campanha Gaúcha.

Esse forte soerguimento da região do Planalto Basáltico destruiu grande parte das dunas, sendo que nessa região elas são mais facilmente identificadas nas fotos aéreas. Já na região da Campanha Gaúcha o soerguimento foi mais leve, ali basicamente apenas cessou a influência eólica e as dunas encontram-se mais preservadas, podendo ser bem identificadas nas imagens CCD/CBERS-2.

Vale ressaltar que na área de estudo não se encontrou nenhuma feição que se correlacione com os montículos de deflação, descritos por Nunes *et al* (1995). Estes, por serem de tamanho menor, são mais facilmente arrasados quando há a cessação da influência eólica.

No entanto, encontraram-se evidências de campos de sobreposição de dunas. Nestes campos é evidente a existência de dunas sobrepostas, formadas pela mesma orientação de vento e que cessada a influência eólica e iniciado algum outro processo (erosão, sedimentação, entre outros), elas perdem suas formas, originalmente arqueada, mas preservam as feições laterais, ficando como que pequenos morros alongados. Estas feições foram denominadas de “coxilhas” por Ab’Saber (1969).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prof. Dr. Elias Carneiro Daitx, coordenador do grupo de “Estudos geoambientais de faixas sob influência de dutovias”, ligado a ANP e a Prof. Dra. Gilda Ferreira Carneiro, Chefe do Departamento de Geologia Aplicada – IGCE/UNESP, por fornecerem a infraestrutura do Laboratório de Quantificação e Análise de Dados Geológicos, apoio esse essencial para a elaboração do presente estudo.

REFERÊNCIAS

AB´SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**. Instituto de Geografia – Universidade de São Paulo, n. 18, p. 13, 1969.

ANTÓN, D.; GOSO, H. Estado actual de los conocimientos sobre el Cuaternario en el Uruguay. IN. SIMPÓSIO SOBRE GEOLOGIA DO QUATERNÁRIO, 2, Porto Alegre. **Anais de XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia**: Ed. Pallotti, 1974, V.3, p. 151-158.

DELANEY, P. J. V. **Fisiografia e geologia de superfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: "Escola de Geologia, Publicação Especial", p. 1-105, 1965.

GONZAGA, T. D. O Quaternário da área interior do Rio Pardo - RS. IN. SIMPÓSIO SOBRE GEOLOGIA DO QUATERNÁRIO, 2, Porto Alegre. **Anais de XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia**: Ed. Pallotti, 1974, V.3, p. 115-132.

GOOSEN, D. Interpretacion de fotos aereas y su importancia en levantamiento de suelos. **Boletín sobre suelos: Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación**, Roma, n. 6, p. 1-58, 1968.

GUY, M. Quelques principes e quelques expériences sur la methodologie de la photo-interpretation. IN: SYMPOSIUM INTERNATIONAL DE PHOTO-INTERPRETATION, 2, Paris. **II Symposium International de Photo-Interpretation:** Acte, 1966, V.1, p.21-41. 1966.

JOST, H. O. Quaternário da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. IN. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo-SP. **Anais do XXV Congresso Brasileiro de Geologia**: Gráfica Sangirard, 1971, V.1, p. 53-62.

NUNES, B. de A.; RIBEIRO, M. I. de C.; ALMEIDA, V. J. de; NATALI FILHO, T. Manual Técnico de Geomorfologia. **Manuais Técnicos em Geociências**, Rio de Janeiro, n. 5, IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, p. 113, 1995.

RIVEREAU, J. C. Curso de fotointerpretação: notas de aulas. **Série Didática**. Brasília, Departamento de Geociências - UNB, n. 4, p. 128, 1970.

SHERER, C. M. S. Eolian dunes of Botucatu Formation (Cretaceous) in southernmost Brazil: morphology and origin. **Sedimentary Geology**, Amsterdam, n.137, Elsevier, 2000, p. 63-84.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícias Geomorfológicas**. Campinas, v. 6, n.32, p.71-104, 1976.

SUERTEGARAY, D. M. A. **A trajetória da natureza: um estudo geomorfológico sobre os areais de Quarai - RS**: Tese de Doutorado. F.F.L.C.H.- Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo – USP, 1987, p. 1- 243.

TOMAZELLI, L. J. **Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da Província costeira do Rio Grande do Sul com ênfase ao sistema eólico**: Tese de Doutorado. IG – Departamento de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 1990, 270p.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. Um novo modelo evolutivo para o Holoceno costeiro do Rio Grande do Sul: resultados preliminares. IN. SIMPÓSIO DE MUDANÇAS GLOBAIS DO QUATERNÁRIO, COM ESPECIAL REFERÊNCIA À EVOLUÇÃO COSTEIRA E FLUTUAÇÕES PALEOCLIMÁTICAS, 1, São Paulo. **Boletim de Resumos Expandidos, Anais do XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia**: Édile Serviços Gráficos e Editora Ltda, 1992, V.1, p. 69-71.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A.; LOSS, E. L.; DEHNHARDT, E. A. Caracterização de um depósito praial Pleistocênico na província costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. IN. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Salvador. **Anais de XXXII Congresso Brasileiro de Geologia**: Ed. Bureau, 1982, V.4, p. 1514-1523.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos, INPE, p. 54, 1982.

WILDNER, W.; LOPES, R. da C.; CAMOZZATO, E. Turfa na província costeira do Brasil meridional, da Chuí à Laguna. IN. SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS ENERGÉTICOS, 6, Belém. **Anais de XXXV Congresso Brasileiro de Geologia**: Sociedade Brasileira de Geologia, 1988, V.6, p. 2514-2527.